CAPITOLO 4
DEFINIZIONE DELLA TIPOLOGIA E DELLA QUALITÀ DEI PRODOTTI E DEI SERVIZI EROGATI, INDICAZIONI IN MERITO AL TRATTAMENTO DEI DATI DA PARTE DEGLI UTENTI

Stefano Gandolfi (1), Aurelio Stoppini (2)

(1) DISTART - Dipartimento di Ingegneria Delle Strutture, dei Trasporti, Delle Acque, della Rilevazione del Territorio, Viale Risorgimento 2 - 40136 Bologna

(2) DICA - Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Via G. Duranti 93 - 06125 Perugia

SOMMARIO

Nel presente capitolo vengono descritti e analizzati i diversi prodotti e servizi che una rete di stazioni permanenti GNSS è in grado di erogare, distinguendoli in base alla modalità di fruizione (post-processamento o tempo reale), alle osservabili utilizzate, alle infrastrutture richieste ed alle prestazioni ottenibili in termini di accuratezza, produttività e affidabilità.
Per ciascun tipo di servizio vengono stabilite specifiche prestazionali riferite allo stato dell'arte delle reti GNSS. Allo scopo di definire in maniera attendibile tali specifiche, con riferimento particolare alla modalità NRTK che è quella maggiormente richiesta dagli utilizzatori, nell'ambito del presente progetto è stata condotta, con il concorso di varie unità operative, una estesa campagna sperimentale della quale si riporta in appendice una sintesi dei risultati.
Per conseguire una fruizione ottimale dei servizi è necessario intraprendere un'attività formativa nei confronti degli utenti, che spesso non dispongono degli strumenti per l'elaborazione o semplicemente per l'interpretazione corretta dei risultati di un rilievo GNSS. In quest'ottica, vengono individuate alcune indicazioni operative da seguire nel trattamento e utilizzo dei dati.
Il capitolo viene completato da quattro appendici. Le prime due riguardano la sperimentazione dei servizi di rete attualmente operativi in Italia: vengono riportati i protocolli sperimentali, le problematiche incontrate e il risultati. La terza e la quarta appendice riguardano esempi di applicazioni dei servizi di posizionamento: in particolare la prima di esse descrive l'utilizzo di rilievi GPS per l'ortorettifica di immagini ad alta risoluzione, la seconda l'utilizzo di reti di SP per determinazioni di quote ortometriche.

1 INTRODUZIONE

Dopo una serie di capitoli dedicati ad approfondire tematiche fondamentali che interessano principalmente chi progetta, istituisce e gestisce una rete, il presente capitolo potrebbe intitolarsi "la rete vista dalla parte dell'utente". I prodotti ed i servizi che una rete di stazioni permanenti è in grado di erogare vengono analizzati mettendosi nei panni di possibili utenti-tipo per comprenderne e soddisfare al meglio le esigenze in relazione a diverse modalità di posizionamento e a diverse applicazioni.

Una rete di stazioni permanenti GNSS, anche se progettata e installata in modo ottimale, non si realizza compiutamente se non nel momento in cui si trasforma in servizio. Ciò richiede, oltre alle componenti primarie (hardware, software e infrastrutture di comunicazione), il concorso fondamentale di una componente umana: i gestori del servizio. La definizione delle tipologie di servizi erogati è essenziale per prevedere le caratteristiche e l'entità di questo staff di gestione.

I prodotti e servizi che una rete GNSS è in grado di offrire sono molteplici e articolati. Le principali categorie che possono essere individuate sono ad esempio: servizi in post-processamento o in tempo reale; servizi di accuratezza submetrica (NDGPS), subdecimetrica (NRTK), centimetrica (GNSS statico); servizi che non richiedono connessione dell'utente al centro di controllo, o che richiedono una

comunicazione mono- o bidirezionale.

Oltre alle tipologie dei servizi, è necessario definire per ciascuno di essi degli opportuni standard di qualità. I parametri principali sono l'accuratezza che un dato servizio di posizionamento è in grado di garantire, e l'affidabilità dello stesso (grado di successo delle procedure di posizionamento). Con l'intento principale di definire e verificare questi parametri è stata condotta nell'ambito del presente progetto una estesa campagna sperimentale (test RTK1) alla quale hanno partecipato varie unità di ricerca, e della quale si riportano i principali risultati in appendice.

Per una efficace fruizione dei servizi e prodotti di rete, è anche necessario tener conto che non tutti gli utenti dispongono degli strumenti (cultura geodetica, mezzi e procedure di calcolo) necessaria a effettuare elaborazioni o semplicemente a utilizzare correttamente dei dati di posizione. Anzi, è spesso vero il contrario, specie nell'ottica di allargare la fruizione della rete ai tanti utenti potenziali che non siano necessariamente operatori del settore rilevamento. Chi gestisce una rete GNSS deve pertanto prevedere una attività di formazione dell'utenza, che a un livello minimo può consistere nella fornitura di linee guida o almeno considerazioni e indicazioni operative per il trattamento e l'utilizzo dei dati.

2 SERVIZI IN POST-PROCESSAMENTO

I servizi in post-processamento sono in genere i meno impegnativi da fornire, sia dal punto di vista degli oneri per il gestore della rete che da quello delle infrastrutture di comunicazione. Si va dalla semplice fornitura di files di osservazioni acquisiti dalle stazioni a vari intervalli di campionamento, che avviene di norma mediante un sito web dedicato, a servizi più complessi e onerosi per il gestore come il processamento a distanza dei dati dell'utente.

La relativa semplicità gestionale, la limitata "sollecitazione" delle infrastrutture di comunicazione, unitamente alla generale affidabilità delle procedure di calcolo in post-processamento, fanno sì che con questo tipo di servizi sia in genere più facile raggiungere una elevata stabilità di funzionamento rispetto ai servizi in tempo reale, che risultano spesso più complessi e delicati da gestire.

Nonostante gli aspetti positivi sopra citati, i servizi in post-processamento non riescono a soddisfare completamente le esigenze dell'utenza. Per usufruire di questi servizi, a meno che non sia attivata l'opzione di processamento automatico di cui al successivo paragrafo 2.3, è infatti necessario che l'utenza sia dotata di opportune procedure software di post-processamento (soluzione baselines e compensazione in rete) e soprattutto che sia in grado di utilizzarle in modo corretto, cosa che richiede un certo grado di preparazione sulla geodesia e sulle modalità di elaborazione e valutazione dei risultati. Questi requisiti limitano notevolmente il bacino di utenza della rete, restringendolo in pratica ai soli tecnici e operatori del rilevamento.

In ogni caso poi, anche per un'utenza preparata e formata, i servizi in post-processamento non rappresentano la soluzione ideale: l'elaborazione in ufficio dei dati comporta un onere non trascurabile sia in termini economici che di tempo, e il buon esito del posizionamento può essere verificato solo a posteriori, dopo il calcolo. Per questi motivi l'utenza preferisce avvalersi ogni volta che sia possibile dei servizi in tempo reale, che eliminano la maggior parte degli inconvenienti citati.

2.1 Fornitura di files di osservazioni

Una tipica stazione permanente GNSS acquisisce in genere osservazioni di codice e fase in doppia frequenza a un intervallo di campionamento fino a 1 secondo, con continuità, per tutte le costellazioni che il ricevitore è in grado di acquisire (i ricevitori GPS/GLONASS sono molto diffusi nelle reti italiane, e sono già disponibili ricevitori GPS/GLONASS/GALILEO).

I files acquisiti non vengono memorizzati nella memoria del ricevitore se non allo scopo di backup temporaneo, ma sono inviati a intervalli regolari (ad es. ogni ora, o ogni 24) al centro di controllo della rete, via rete telematica o via modem. Alcune stazioni sono dotate anche di un server locale in cui avviene una temporanea archiviazione dei dati, con una capienza ovviamente molto superiore a quella della memoria interna del ricevitore, sempre a scopo di backup locale.

Il flusso dei dati di norma è il seguente: i files acquisiti vengono archiviati localmente (se è presente

un server) nel formato raw senza alterarli, e vengono spediti al centro di controllo della rete in questa forma o previa compattazione. La comunicazione dalle stazioni periferiche al centro di controllo è quindi di norma unidirezionale (salvo il caso di interventi di manutenzione effettuati da remoto) ed il flusso di dati sulla rete è di modesta entità e non continuativo. Il centro di controllo si occupa della trasformazione da raw a RINEX e a RINEX compatto Hatanaka, di norma ulteriormente compresso per ridurne la dimensione. L'archiviazione definitiva (spesso doppia: raw e Hatanaka compresso) avviene su uno o più server centrali dotati di grande memoria di massa (ottimi i sistemi NAS), mentre la distribuzione agli utenti viene effettuata di norma mediante il sito web della rete, spesso ubicato fisicamente su un server a parte. Per motivi di sicurezza, è preferibile adottare per la distribuzione un server UNIX o LINUX; è indispensabile in ogni caso dotarlo di un efficace sistema firewall hardware o software.

L'utente accede al sito di distribuzione (a seconda dei casi, liberamente o mediante password), seleziona e scarica i files che gli interessano, di norma quelli contemporanei alle sessioni di misura eseguite in campagna con i propri ricevitori.

Spesso vengono resi disponibili a scelta dell'utente files a diverso intervallo di campionamento, ad esempio oltre i files a 1 secondo ne possono essere forniti a 30 e 5 s, generati dal software per sfoltimento di quelli acquisiti. L'utente decide quali prelevare a seconda del tipo di applicazione che sta svolgendo. Nell'esempio di cui sopra, i files a 30 s sono adatti alla modalità statica (applicazioni scientifiche o rilievo di reti) con sessioni lunghe (> 1 ora), quelli a 5 s per la determinazione di baselines più corte con sessioni più brevi in statico-rapido, quelli a 1 s per la ricostruzione di tracciati cinematici (fotogrammetria aerea, mobile mapping systems, telemetria) e altre applicazioni. Ovviamente, quanto più breve è l'intervallo di campionamento, tanto maggiore risulta la mole dei dati da scaricare (e il costo se si tratta di servizi a pagamento).

Altro importante parametro dei files per post-processamento è la durata temporale degli stessi, che praticamente coincide poi con la latenza con cui possono essere resi disponibili. Le prime reti di stazioni permanenti fornivano files giornalieri (dalle ore 00:00:00 alle 23:59:59). La prassi attualmente più diffusa prevede files orari, allo scopo di ridurre i tempi di latenza per gli utilizzatori. È anche possibile fornire files di durata diversa a scelta dell'utente, che può stabilire gli orari iniziale e finale.

Figura 1 – Esempio di schermata da sito web per la distribuzione di files GNSS per postprocessamento (Regione Umbria).

Oltre ai files acquisiti direttamente dai ricevitori delle stazioni, è possibile distribuire files VIRTUAL RINEX generati dal software di rete per una posizione prossima all'area in cui opera l'utente (in genere a 4-5 km di distanza). Si tratta di un prodotto che può essere definito "a valore aggiunto" in quanto viene generato e fornito su richiesta dell'utente. I files RINEX virtuali si comportano come se fossero stati effettivamente acquisiti in una stazione molto vicina all'operatore, con il vantaggio di consentire un più agevole e rapido fissaggio delle ambiguità. Le principali applicazioni sono il rilievo cinematico post-processato e le reti e rilievi locali in statico-rapido, dove i tempi di sessione possono ridursi drasticamente.

Il funzionamento di una rete per servizi in post-processamento è relativamente semplice e poco oneroso: si tratta ovviamente, come sempre, di assicurare il costante funzionamento e alimentazione dei ricevitori, dei server e di tutte le apparecchiature connesse. Sistemi di backup locali e centralizzati, gruppi di continuità e altre dotazioni di sicurezza hardware o software aumentano considerevolmente l'affidabilità della rete. L'intero sistema, come già accennato, deve essere opportunamente protetto contro intrusioni e attacchi esterni (più frequenti di quanto si potrebbe pensare).

La responsabilità del gestore della rete è limitata a garantire il funzionamento di tutte le stazioni della rete e la costante disponibilità e accessibilità dei files nel sito di distribuzione, verificando l'integrità e la correttezza dei files stessi con procedure di controllo quali TEQC dell'UNAVCO.

L'onere del processamento (calcolo baselines, compensazioni a rete, eventuali trasformazioni di datum, ...) è lasciato all'utente, che deve essere in grado di poterselo assumere e deve essere ben consapevole di tale fatto.

L'utente tipo dei servizi in post-processamento va dal ricercatore in genere, all'operatore di un ente cartografico, alla ditta o al tecnico del settore rilevamento, che utilizza i dati per soluzioni a rete o per ricostruzione in PP di tracciati cinematici. Nella maggior parte dei casi (purtroppo non sempre) si tratta di utenti in possesso di un grado più o meno elevato di cultura geodetica e di dimestichezza con il software di post-elaborazione, requisiti sicuramente necessari per un utilizzo proficuo di questo tipo di servizio.

2.2 Coordinate e monografie delle stazioni

L'utilità per l'utente (in particolare per quello tecnico) dei files acquisiti da una o più stazioni permanenti è molto limitata se non si può disporre anche di coordinate attendibili per le stazioni, riferite a un datum ben individuato. Di norma, le coordinate delle stazioni vengono calcolate dal gestore della rete avvalendosi della consulenza di soggetti qualificati (Università, IGM) e distribuite agli utenti sotto forma di files di coordinate o di schede monografiche simili a quelle dei classici vertici geodetici, consultabili e stampabili nel sito web di distribuzione dei dati. Gli utenti del settore rilevamento preferiscono di solito che le coordinate e gli altri dati della stazione siano presentati nella classica e abituale forma della "monografia".

Le schede monografiche, oltre alle coordinate, devono contenere una chiara definizione della materializzazione, in genere riportata nel *log file*. La forma più raccomandabile e opportuna del log file è quella adottata internazionalmente per le reti IGS e EUREF. Al log file si possono affiancare anche ulteriori informazioni sotto forma di disegni o fotografie. In ogni caso, ciò che conta è che sia ben chiaro quale sia il punto (marker) a cui le coordinate si riferiscono, in particolare è fondamentale che sia precisato se l'utente deve mettere in conto o meno un offset verticale dell'antenna.

Una scelta che, almeno a livello teorico, appare particolarmente comoda per l'utente è quella di assumere il punto a cui fanno riferimento le coordinate della stazione coincidente con il centro del punto di montaggio (base) dell'antenna, detto anche *ARP – antenna reference point* o *BAM – bottom of antenna mount*, in modo che l'offset verticale dell'antenna da mettere in conto sia *zero*. In realtà, però, va messa in conto la possibilità che nel corso della vita della stazione l'antenna debba essere sostituita, il che a volte implica anche la sostituzione del sistema di montaggio (anche per motivi "banali": ad es. manca lo spazio per fissare il cavo antenna). Per questo motivo, si preferisce di norma riferire sempre le coordinate a un marker stabile, in modo di svincolarsi dalle caratteristiche dell'antenna e relativo adattatore.

Di estrema importanza è ovviamente anche che sia precisato con esattezza il tipo e modello di antenna, e la presenza o meno del radome. I dati di calibrazione dell'antenna, siano essi determinati individualmente con una calibrazione specifica per l'antenna in oggetto, o desunti dalla documentazione

dell'IGS, devono essere riportati rispettando le specifiche del formato di interscambio internazionale ANTEX (versione attuale 1.3 – informazioni in ftp://epncb.oma.be/pub/station/general/antex13.txt).

In assenza di una calibrazione specifica, vanno utilizzati i dati distribuiti dall'IGS nel file delle calibrazioni assolute delle antenne (versione attuale ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/station/general/igs05.atx).

Fotografie da più angolazioni e una chiara indicazione della denominazione anche commerciale del modello di antenna aiuteranno l'utente a individuarla con sicurezza nel proprio software, che non sempre è pienamente compatibile con le specifiche ANTEX.

Ai fini della definizione delle coordinate risulta fondamentale una accurata e rigorosa definizione del datum. Per le reti sinora realizzate in Italia, il datum più utilizzato è ITRS nella realizzazione IGb00 e successivamente IGS05. Solo in alcuni casi (ad es. in Umbria), in via temporanea, è stato adottato ETRS89 (che nella sua realizzazione ETRF89 presenta una buona congruenza con la rete geodetica italiana IGM95). A proposito della più opportuna definizione di datum da utilizzare nelle reti permanenti, si rimanda comunque al capitolo dedicato a tale argomento (capitolo 2).

REGIONE UMBRIA

RETE DI STAZIONI PERMANENTI GNSS DELLA REGIONE UMBRIA

Comune: Orvieto
Provincia: Terni

Indirizzo: Centro Studi Città di Orvieto
Piazza Duono, 20
Orvieto

Nome: UNOV
Punto N°:

Particolari della materializzazione:

Descrizione:
Pilastro in acciaio inossidabile, ancorato tramite flange bullonate alla muratura ed emergente dalla copertura a tetto dell'ex ospedale di Orvieto, ora Centro Studi Città di Orvieto

Ricevitore: Topcon Odyssey-RS (GPS + GLONASS)

Antenna: Topcon CR-3 GGD con radome

cod. IGS: **TPSCR3_GGD CONE**

offset verticale base antenna - marker = 0.000 m

Fotografia:

Cooordinate geografiche WGS84 (ETRF89):
φ : 42° 42' 57,0700"
λ 12° 06' 47,2466"
h : 379,72 m

Coordinate UTM - WGS84 (fuso 33):
N: 4733303,238 m
E: 263606,003 m

Coordinate geografiche Roma40:
φ : 42° 42' 54,7214"
φ : -0° 20' 20,3579"

Coordinate Gauss - Boaga (Fuso Est):
N: 4733315,132 m
E: 2283610,773 m

Coordinate geografiche ED50:
φ : 42° 43' 00,6"
λ 12° 06' 50,6"

Coordinate UTM-ED50 (fuso 33):
N: 4733495 m
E: 263673 m

Coordinate Geografiche ITRF2000 (IGb00) epoca di riferimento 23.10.2005:
φ : 42° 42' 57,0822"
λ 12° 06' 47,2605"
h : 379,57 m

Quota s.l.m.: 331,19 m

Caposaldo collegato: -
(stimato con geoide ITALGEO 99)

Figura 2 – Esempio di estratto di scheda monografica di una stazione permanente (rete regione Umbria).

La "politica" di distribuzione di coordinate e monografie delle stazioni varia da una rete all'altra. A questo proposito, mettendosi ancora una volta dalla parte dell'utente, si evidenziano alcune esigenze importanti:

- Le coordinate nel datum ITRS, per la natura "dinamica" di tale datum devono essere rideterminate periodicamente, a cadenza non troppo lunga (ad es. semestrale) e devono riportare in modo chiaro la realizzazione (ad es. IGb00 o IGS05) e la data a cui fanno riferimento.
- La maggior parte degli utenti tecnici del nostro paese preferiscono operare nel datum ETRS89, in

quanto congruente con la rete IGM95, realizzazione per l'Italia di tale datum. Da ETRS89/IGM95 è possibile passare ad altri sistemi (come Roma 40 ancora molto utilizzato in cartografia) mediante parametri di trasformazione noti e controllati, usufruendo delle collaudate procedure *Verto* IGM, che comprendono anche il modello di geoide ITALGEO per l'altimetria (passaggio da altezze ellissoidiche a quote ortometriche).

- Le coordinate ETRS89 possono essere determinate da quelle ITRS mediante parametri di trasformazione di Helmert calcolati per ogni soluzione periodica ITRS. I parametri vanno forniti agli utenti in modo chiaro (anche a proposito delle convenzioni di segno e formule usate). È anche opportuno che nel sito della rete sia presente un tool (ad es. realizzato con Java) per l'effettuazione della conversione da ITRS a ETRS89 con i parametri calcolati.

- Le coordinate ETRS89, per come sono definite, hanno una bassa variabilità nel tempo, praticamente irrilevante ai fini della maggior parte delle applicazioni classiche del rilevamento. È quindi possibile determinarle a intervalli temporali superiori rispetto alle ITRS, ed inserirne i valori nelle monografie delle stazioni mantenendoli costanti per qualche anno. Questo secondo tipo di approccio risulta particolarmente gradito all'utenza degli operatori del rilevamento, abituati a utilizzare archivi geodetici aggiornati con frequenza minore.

- Infine, si sottolinea particolarmente l'esigenza, divenuta urgente, che le diverse reti regionali attualmente esistenti in Italia vengano uniformate mediante un calcolo in blocco: non è sufficientemente garantito allo stato attuale che esse siano tutte effettivamente riferite ad un unico datum, e nelle zone a confine tra una regione e un'altra si rischia di avere differenze e incongruenze non trascurabili. È un problema che dovrà essere quanto prima affrontato in maniera organica e razionale.

2.3 Servizi di calcolo in post-processamento

Alcuni gestori di reti GNSS all'estero forniscono all'utenza, come servizio, anche il calcolo della posizione rispetto alla rete. Un esempio rilevante è quello realizzato dall'NGS negli Stati Uniti con il sistema OPUS (On-line Positioning User Service - http://www.ngs.noaa.gov/OPUS/): l'utente invia i files acquisiti con i propri ricevitori in formato RINEX (specificando tipo e offset dell'antenna) allo stesso NGS, che effettua con hardware e software propri un posizionamento in post-processamento rispetto a tre stazioni della rete permanente nazionale CORS (Continuously Operating Reference Stations).

I dati dell'utente vengono inviati all'NGS mediante un form online e i risultati (coordinate ITRF e nel sistema nazionale NAD83 con le rispettive indeterminazioni, e quota ortometrica stimata) pervengono all'utente via e-mail, di norma in pochi minuti. Il processo è completamente automatico.

Il servizio è attualmente gratuito. Recentemente (gennaio 2007) è stato attivato un nuovo servizio sperimentale in statico rapido (OPUS-RS) che mediante un nuovo software , e grazie alla densificazione della rete, permette di trattare files di breve durata, a partire da 10 minuti (la versione originaria richiedeva sessioni minime di 2 ore).

Analoghi servizi vengono offerti gratuitamente anche da altri enti come il SOPAC (http://sopac.ucsd.edu/cgi-bin/SCOUT.cgi), uno dei centri di calcolo per il sistema di riferimento mondiale.

Si ritiene che servizi di questo tipo possano rivestire un notevole interesse anche nel nostro paese, e in effetti alcuni gestori di reti regionali in Italia stanno provvedendo o hanno già provveduto all'implementazione di queste procedure. I potenziali utilizzatori sono i soggetti che non dispongono di software di elaborazione, o non hanno le basi culturali per poterlo utilizzare in modo sicuro, o semplicemente preferiscono affidare il calcolo al gestore per praticità o per ottenere una soluzione in qualche modo ufficiale e certificata.

È evidente che prima di poter offrire questo servizio come "certificato" le procedure devono essere sottoposte a controlli e collaudi estremamente approfonditi, in caso contrario si può solo offrire un servizio di tipo sperimentale o "a rischio dell'utente" che però ha un'utilità ben modesta.

È anche possibile fornire agli utenti un servizio di calcolo differito eseguito non automaticamente ma "manualmente" (con il controllo di operatori esperti), in grado di assicurare una elevatissima affidabilità ma che per ovvi motivi ha un costo molto superiore a quello di un servizio automatico.
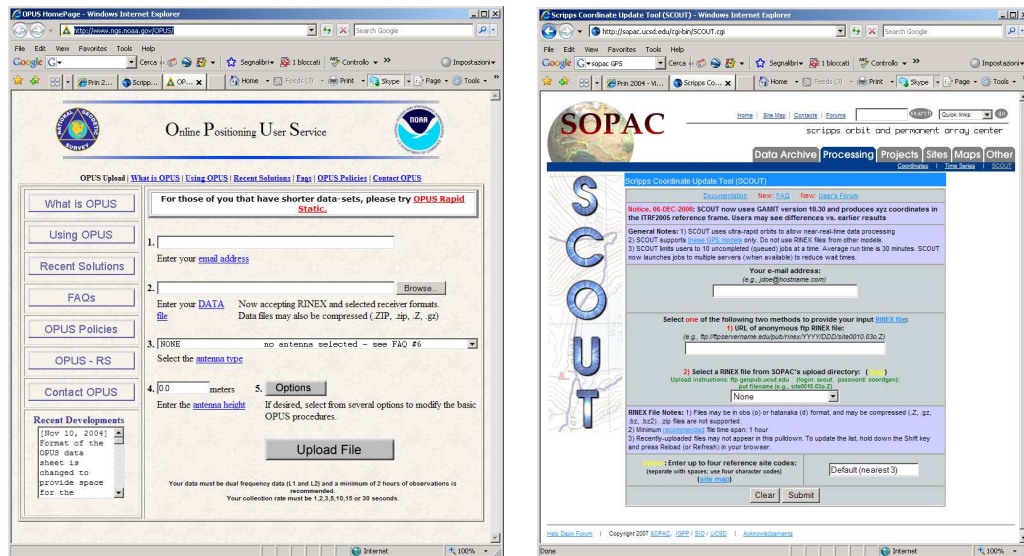
Figura 3 – Esempi di due servizi di elaborazione dati via web.

2.4 Altri prodotti e servizi in post-processamento

Il gestore di una rete GNSS può offrire agli utenti anche ulteriori servizi rispetto a quelli già descritti. Un prodotto molto interessante è la stima dei disturbi atmosferici, che può essere effettuata dal software di rete con i dati delle stazioni fisse, e fornita all'utente per la propria posizione, sia in tempo reale che per post-processamento. Ne deriva un notevole aumento della accuratezza del posizionamento, in quanto come noto gli errori di stima dei bias atmosferici costituiscono tuttora il maggior elemento limitante della precisione delle misure GNSS.

Alcune reti di stazioni permanenti (ad es. quella della regione Umbria) sono dotate di stazioni meteo interfacciate con le stazioni GNSS, e forniscono a richiesta i dati di pressione, temperatura (e umidità se rilevata) nel formato RINEX METEO. La cadenza di 1 minuto è di norma ampiamente sufficiente a descrivere la variabilità di questi parametri.

Un servizio potenzialmente importante potrebbe essere dato da soluzioni delle reti regionali in formato SINEX. Tale prodotto potrebbe essere utilizzato da utenti esperti per inquadrare al meglio una rete locale (di raffittimento) utilizzando la rete di riferimento. Tale formato infatti contiene oltre alle soluzioni anche le matrici di varianza covarianza complete e informazioni anche sui siti e viene importato automaticamente nei principali software scientifici di elaborazione dati.

3 Servizi in tempo reale

I servizi di posizionamento in tempo reale sono in genere quelli preferiti dall'utenza. Tutta l'utenza, da quella generica, non formata da tecnici del rilievo, che è in grado di effettuare posizionamenti affidabili senza possedere software e preparazione specifica, a quella tecnica che beneficia di una notevole riduzione di tempi e costi del rilievo e del poter controllare il buon esito del rilievo direttamente in campagna all'atto del rilievo stesso.

Si può affermare che un'area coperta da una rete GNSS in grado di assicurare servizi in tempo reale DGPS e NRTK diviene per l'utenza un'"area attrezzata", un territorio privilegiato in cui si possono eseguire posizionamenti affidabili e accurati in tempi rapidissimi, ovvero prestazioni irraggiungibili nelle aree non coperte dalla rete.

I servizi di posizionamento in tempo reale vanno distinti tra quelli che utilizzano il solo codice (Network DGPS) permettendo di ottenere accuratezze sub-metriche, e quelli che impiegando anche la fase (Network RTK o NRTK) raggiungono accuratezze dell'ordine di pochi centimetri. Entrambe le categorie hanno un vasto bacino di potenziali utenti. Il DGPS, che utilizza strumentazione semplice ed economica ed è caratterizzato da un elevatissimo grado di successo del posizionamento, copre benissimo le esigenze della maggioranza dei rilevamenti per creazione o aggiornamento di GIS. L'NRTK richiede strumentazione più costosa e può avere una qualche percentuale di insuccesso, ma ha un'accuratezza che risulta sufficiente per la stragrande maggioranza delle applicazioni del rilevamento, e rispetto alla "concorrenziale" tecnica RTK (che utilizza due ricevitori, uno dei quali collocato su un punto noto) offre un'affidabilità molto più elevata (grazie alla ridondanza garantita dalla rete) e un costo generalmente minore (il canone del servizio è compensato dal minor utilizzo di personale e strumentazione).

I servizi in tempo reale devono consentire all'utente da un lato il posizionamento con l'accuratezza attesa e dall'altra un servizio di informazione sull'eventuale stato di funzionamento della rete.

Attualmente i maggiori produttori di software che gestiscono reti di stazioni permanenti per posizionamento in tempo reale di precisione possono offrire differenti tipologie di correzioni da fornire all'utenza. VRS, FKP, MAC, costituiscono i sistemi più utilizzati per definire correzioni di rete (**N**RTK) da trasferire all'utenza.

Per quanto attiene il primo sistema(VRS), tale trasmissione può avvenire sia con il protocollo RTCM 2.3 che con RTCM 3.0; per quanto riguarda il secondo (FKP) tale trasmissione è prevista solo in RTCM2.3 ed infine il terzo (MAC) sistema può essere trasferito all'utenza solo mediante il protocollo RTCM 3.0 anche se alcuni software di gestione delle reti propongono una emulazione di MAC per consentire la trasmissione anche in RTCM2.3. Esistono altri protocolli di trasmissione (tipicamente quelli proprietari CMR-Trimble e Leica) che però risultano non essere standard e dunque non utilizzabili da tutti i ricevitori delle differenti ditte.

Fatto salvo dunque che lo standard RTCM deve essere la piattaforma comune per trasferire i dati, la possibilità di trasferire tali informazioni anche sul protocollo più datato (2.3) presenta il vantaggio di poter essere interpretato in modo corretto anche da ricevitori non di ultima generazione.

L'RTCM 3 per contro, presenta una architettura tale da consentire tutte le trasmissioni nelle differenti modalità e a parità di approccio, consente un traffico di informazioni più ottimizzato e dunque, almeno in linea teorica, più veloce.

Definita dunque come servizio la distribuzione delle correzioni in tempo reale, un ulteriore servizio che può essere fornito all'utente è costituito dallo stato della rete. Tale aspetto al momento risulta essere non del tutto risolto anche perché i software di gestione possono fornire informazioni (o via SMS o e-mail) sul cambiamento di stato di un satellite ma non possono essere interrogati sul reale stato della rete (ivi compresa la situazione di fissaggio ambiguità sulle singole stazioni). Il rischio è dunque quello di non ricevere correzioni senza conoscerne le ragioni (attribuibili o ad una non corretta configurazione del ricevitore Rover, o a problemi di connessione telefonica o a problemi della rete GPS).

In tal senso, vanno dunque precisati i contenuti essenziali che devono avere le pagine web che descrivono lo status della rete in tempo reale: stazioni attive, numero di satelliti tracciati da ciascuna, ambiguità fissate o meno, disponibilità o meno dei files per postprocessamento suddivisi per data e orario, skyplot e quant'altro.
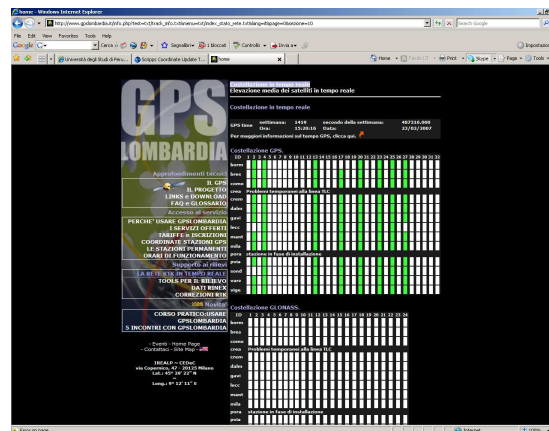
Figura 4 – Esempio di visualizzazione dello stato di una rete per posizionamento in tempo reale (www.gpslombardia.it).

In Figura 4 viene mostrato un esempio di pagina web (www.gpslombardia.it) che mostra in tempo reale lo stato della rete e quali siano le stazioni attive e quali siano i satelliti ad ambiguità iniziale di fase fissata. Ovviamente per l'utente in campagna tale dato risulta di difficile fruizione ma comunque è un servizio che per alcune applicazioni può risultare utile.

Ritornando alla trasmissione del dato in tempo reale, vi è da sottolineare che sotto l'aspetto tecnico operativo, l'utilizzo del sistema NTRIP consente di costruire differenti prodotti (e profili) sullo stesso IP fruibili a molteplici utenti. Tale gestione consente dunque di creare differenti possibilità di connessione con la rete utilizzando:

- una singola stazione a scelta dall'utente,
- la stazione permanente più vicina all'utente
- la cella (sotto-cluster di stazioni permanenti) ad hoc per l'area di lavoro
- una cella definita in modo automatico dal software sulla base dello stato delle stazioni nel momento.

Tali scelte possono essere proposte sia su protocollo RTCM 3.0 che su RTCM 2.3 e l'utente una volta connesso con il centro di controllo sceglie via software in quale modalità lavorare.

	VRS	FKP	MAX	Single station
RTCM 2.3	x	x	i-max (emulazione)	x
RTCM 3.0	x		x	x

Tabella 1 - Tabella di riepilogo delle possibili tipologie di correzione d'area inviabili all'utenza al variare del tipo di protocollo utilizzato.

4 RIEPILOGO DEI PRODOTTI E SERVIZI EROGABILI DA UNA RETE REGIONALE GNSS

A conclusione dei paragrafi precedenti, si ritiene opportuno allegare una tabella di riepilogo e di sintesi dei principali prodotti e servizi che una rete permanente GNSS su scala regionale è in grado di erogare. La tabella (tab. 2) è inserita tra le pagine seguenti e riporta le caratteristiche più rilevanti dei servizi e prodotti considerate dal punto di vista dell'utente, nello spirito del presente capitolo.

Tipologia	Servizio	Elaborazioni richieste all'utente	Ricevitori utente e hardware accessorio	Infrastruttura di comunicazione	Accuratezza raggiungibile nel posizionamento (valori di massima)	Applicazioni tipiche
POST-PROCESSAMENTO	**Fornitura files acquisiti dalle stazioni** (osservazione, navigazione, report qualità, meteo, ...) a vari intervalli di campionamento	Calcolo in post-processamento, eventuali operazioni sui files (unione, decimazione, ...)	Ricevitori geodetici a doppia frequenza (o monofrequenza solo in prossimità delle stazioni)	Internet per download files	centimetrica o subcentimetrica (dipende da caratteristiche hardware e software, durata sessioni, ridondanza, ...)	Impiego generale per posizionamenti di precisione in modalità statica e rilievo di tracciati in cinematico.
	Fornitura files RINEX virtuali generati in funzione della posizione dell'utente all'intervallo di campionamento richiesto	Calcolo in post-processamento, eventuali operazioni sui files (unione, decimazione, ...)	Ricevitori geodetici a doppia frequenza o monofrequenza	Internet per invio propria posizione, richiesta files e download files	centimetrica o subcentimetrica (dipende da caratteristiche hardware e software, durata sessioni, ridondanza, ...)	Esecuzione di reti locali, rilievo cinematico di tracciati, impiego di ricevitori monofrequenza su basi corte
	Servizio di calcolo in post-processamento (automatico o manuale)	Valutazione e verifica dei risultati ricevuti, eventuali trasformazioni di datum	Ricevitori geodetici a doppia frequenza o monofrequenza	Internet per invio propri dati e download soluzione	centimetrica o subcentimetrica (dipende da caratteristiche hardware e software, durata sessioni, ridondanza, ...)	Impiego generale per posizionamenti in modalità statica ed eventualmente anche rilievo di tracciati in cinematico.
	Fornitura di altri dati e informazioni: monografie e coordinate stazioni, parametri di trasformazione di datum, ecc.	Consultazione e utilizzo dei dati per il calcoli di cui ai punti precedenti	----	Internet per consultazione e download	----	Impiego generale per posizionamenti in modalità statica e rilievo di tracciati in cinematico.
TEMPO REALE	**DGPS** (invio correzione di solo codice)	Analisi e verifica dei risultati, eventuali trasformazioni di datum	Ricevitori palmari solo codice, ricevitori tipo GIS con interfaccia grafica. Dispositivo di telecomunicazione per ricevimento correzioni	Internet (Ntrip), telefonia GSM, radio, satellite per telecomunicazioni	metrica o submetrica (dipende da caratteristiche ricevitore e correzione)	Navigazione di precisione, rilevamento GIS, catasto stradale, tutte le applicazioni per cui un'accuratezza metrica o submetrica è sufficiente
	RTK (invio correzione di codice e fase da una sola stazione)	Analisi e verifica dei risultati, eventuali trasformazioni di datum	Ricevitori geodetici doppia frequenza. Dispositivo di telecomunicazione per ricevimento correzioni	Internet (Ntrip), telefonia GSM, radio	alcuni cm (utilizzo limitato a circa 20 km di distanza max da una stazione permanente)	Rilevamento di dettaglio, determinazione di punti d'appoggio, tracciamento di opere
	NRTK (invio correzione di codice e fase calcolata dai dati di più stazioni della rete e in base alla posizione dell'utente)	Analisi e verifica dei risultati, eventuali trasformazioni di datum	Ricevitori geodetici doppia frequenza. Dispositivo di telecomunicazione per ricevimento correzioni	Internet (Ntrip), telefonia GSM	alcuni cm in qualunque posizione nell'area coperta dalla rete	Rilevamento di dettaglio, determinazione di punti d'appoggio, tracciamento di opere
	Fornitura di altri dati e informazioni: status della rete, parametri di trasformazione di datum, ecc.	Consultazione e utilizzo dei dati per il calcoli di cui ai punti precedenti	----	Internet per consultazione e download	----	Tutti i casi precedenti

Tab. 2: Riepilogo dei principali prodotti e servizi erogabili da una rete regionale permanente GNSS

5 INFORMAZIONE E FORMAZIONE DEGLI UTENTI DI UNA RETE

Come si è visto nei paragrafi precedenti, i servizi di posizionamento e "rilevamento assistito" che una rete GNSS può offrire sono molteplici e complessi. Quando una nuova rete viene impiantata, l'utenza in molti casi è ancora tutta da creare, e quasi sempre non sufficientemente informata sui servizi di cui potrà usufruire e sulla miglior maniera di impiegarli.

Per favorire il successo e la diffusione del servizio, il gestore della rete deve allora assumere in qualche modo un ruolo di guida dell'utenza, un ruolo informativo ma anche in una certa misura formativo, da espletare a vari livelli. Ad esempio articolato secondo il seguente schema :

a) A monte di tutto, presenza nel sito web della rete di una o più pagine o schede di sintesi sullo "status" della rete in tempo reale, che informino chiaramente l'utente sullo stato di efficienza (o meno) della rete stessa, evitando un utilizzo inefficiente dei dati o addirittura uscite a vuoto.

b) Presenza nel sito della rete di chiare ed estese "istruzioni per l'uso", ovvero indicazioni operative relative ai vari servizi e dati distribuiti e alle diverse modalità di posizionamento, facilmente comprensibili e consultabili dall'utente. Le istruzioni dovranno essere il più possibile complete, riferite cioè a tutte le operazioni successive che l'utente deve compiere. Nel caso del post-processamento potranno partire ad esempio da una "guida al download" per terminare con l'analisi e validazione dei risultati ottenuti. Nel caso del tempo reale potranno limitarsi a suggerimenti sulla strumentazione e sulla maniera ottimale di effettuare il collegamento alla rete, con indicazioni sulla valutazione immediata del buon esito o meno del posizionamento.

c) In relazione alle indicazioni operative fornite al punto precedente, può essere opportuna la predisposizione di una efficiente "modulistica di campagna" per l'annotazione dei dati essenziali alla elaborazione del rilievo nelle diverse modalità previste (orari, siti occupati, offset verticali e orizzontali dell'antenna, ecc.), che guidi l'utente a compiere correttamente e con ordine le operazioni di campagna (peraltro abbastanza semplici nei rilevamenti satellitari) semplificandone poi notevolmente il lavoro successivo. Chi abbia affrontato ad esempio il problema di ricostruire la corrispondenza tra files acquisiti e siti occupati per una rete con alcune decine di vertici, ha un'idea di ciò di cui si sta parlando. La modulistica dovrà essere ovviamente strettamente collegata alle linee guida definite al punto precedente, con particolare attenzione ad impiegare una terminologia chiara e coerente. Alcuni esempi di modulistica per rilevamenti GNSS vengono dati al successivo paragrafo 6 di questo capitolo.

d) Assistenza telefonica o e-mail, purtroppo onerosa ma probabilmente indispensabile almeno in una prima fase. Potrà essere integrata e snellita da altri servizi complementari realizzati con altri strumenti web, ad es. forum di discussione per gli utenti nei quali intervenga personale del centro di gestione della rete, ovvero predisposizione di FAQ via via aggiornate in base ai problemi riscontrati nella pratica.

e) Iniziative di formazione periodiche a vari livelli: corsi introduttivi, seminari, corsi di aggiornamento. Un'ipotesi a titolo di esempio potrebbe essere quella di tenere annualmente un corso base per i nuovi abbonati al servizio e alcuni workshop teorico-pratici con esercitazioni. Gli introiti incassati per i corsi contribuiranno al "sostentamento" della rete; un corso a livello base potrebbe anche essere incluso nella quota di prima iscrizione al servizio. Il livello dei corsi potrà variare a seconda delle esigenze dei diversi tipi di utenza e delle tecniche di posizionamento che si vogliono utilizzare (quelle in tempo reale richiedono in genere un grado di formazione inferiore rispetto a quelle in post-processamento). È da prevedere anche una formazione di base sui datum, sui sistemi di coordinate e sulle problematiche della georeferenziazione in genere, che come noto sono spesso oggetto di errori anche da parte di personale tecnico e del rilevamento.

6 SUGGERIMENTI OPERATIVI PER GLI UTENTI (POST-PROCESSING)

Le modalità di erogazione dei servizi in post-processamento presentano alcune differenze da una rete all'altra, in base alle scelte dei singoli gestori. Tuttavia, le analogie sono maggiori rispetto alle differenze, per cui risulta possibile individuare dei criteri operativi di validità generale per gli utenti.

Di seguito, si riportano alcune indicazioni generali sulle modalità di fruizione di servizi di rete GNSS in post-processing, seguendo il flusso cronologico delle operazioni compiute da un utente tipo.

6.1 Consultazione archivio dati e download

I files acquisiti dalle stazioni sono di norma distribuiti mediante un sito web dedicato. I siti sono dotati di un'interfaccia grafica molto intuitiva e semplice da usare, in cui l'utente seleziona la stazione o le stazioni che gli interessano, l'intervallo di campionamento desiderato e tra i files disponibili effettua il download di quelli che coprono il periodo temporale delle sessioni di misura eseguite con i propri strumenti.

Alcuni siti (ad es. quello della regione Lombardia) forniscono files con un "taglio" temporale personalizzato, completamente definibile dall'utente (orari di inizio e fine sessione). Altri siti (es. regione Umbria) forniscono files già suddivisi per ore; se l'utente ha eseguito sessioni più lunghe, alcuni software di elaborazione richiedono che i diversi files orari vengano accorpati, cosa possibile con opportuni *tools* software (ve ne sono anche di pubblico dominio) che operano sui RINEX.

Alcuni siti offrono solo i files acquisiti dalle stazioni, altri forniscono a richiesta anche i RINEX virtuali; in quest'ultimo caso, l'utente deve comunicare una posizione di massima dell'area del proprio rilievo e il file viene generato per una stazione virtuale a una distanza di pochi km.

Il download non pone particolari problemi: la dimensione dei files è abbastanza contenuta (e conseguentemente il download risulta rapido) se si ha l'accortezza di selezionare solo il periodo necessario e di scegliere un intervallo di campionamento compatibile con le proprie applicazioni ma non eccessivamente breve. Per lo stesso motivo, è consigliabile scaricare sempre files compressi, ad es. RINEX compatti Hatanaka ulteriormente compressi con software di compressione. Alcune reti offrono solo questa opzione, mentre altre permettono a chi lo desidera di scaricare anche files non compressi in alcun modo.

I software di compressione utilizzati dai gestori delle reti sono quasi sempre di tipo UNIX (*compress*). Non esistono quindi difficoltà se si opera in ambiente UNIX o LINUX. Anche in ambiente Windows è possibile decomprimere i files compressi UNIX con software di impiego comune (Pkunzip, Winzip, ...); è però necessario verificare nella documentazione di accompagnamento del software di decompressione che esso sia compatibile con i files UNIX, in quanto possono verificarsi errori (ad es. alcune versioni di Winzip nel decomprimere files UNIX saltano i ritorni carrello). Altro problema riscontrato è il seguente: alcune versioni di Windows rinominano le estensioni di files compressi UNIX (ad es. .z viene modificato in .tgz), nel qual caso è necessario ripristinare l'estensione originaria rinominando manualmente i files.

I files compressi UNIX vanno sempre scaricati come files binari (fare attenzione perchè alcuni browser non recentissimi propongono di default uno scaricamento come files di testo).

Per la compressione Hatanaka esistono utility di pubblico dominio che effettuano sia la compattazione (RNX2CRX.exe) che la scompattazione (CRX2RNX.exe), facilmente reperibili con una rapida ricerca su internet e comunque di norma scaricabili o linkate negli stessi siti delle reti.

Scaricati e scompattati i files RINEX, si consiglia di controllarne il contenuto aprendoli velocemente con un editor di testo e verificando stazione, orari di inizio e fine sessione e intervallo di campionamento indicati nello header.

Se i files cercati dall'utente non risultano presenti in archivio per il download, conviene comunque contattare il gestore della rete perché potrebbero essersi verificati malfunzionamenti della rete non ancora risolti. Le reti dispongono in genere di procedure ridondanti e sistemi di backup per cui spesso files apparentemente non presenti possono in realtà essere trovati e ripristinati dal gestore.

Gli archivi consultabili online contengono ovviamente solo i files del periodo più recente (ad es. l'ultimo anno o gli ultimi 6 mesi); quelli più vecchi sono ottenibili solo a richiesta prelevandoli dagli archivi offline del gestore, operazione che può comportare un aumento di costo.

6.2 Indicazioni operative per il rilevamento

6.2.1 Rilevamento statico e statico rapido

La distinzione tra “statico” e “statico rapido” è praticamente irrilevante ai fini della esecuzione delle misure, per cui è ormai poco utilizzata. Nell’uno e nell’altro caso i ricevitori restano fissi per un certo tempo sui punti da rilevare per cui si può parlare semplicemente di rilievi GNSS statici.

- *Strumentazione e parametri di acquisizione*

La tecnica statica propriamente detta è la versione più classica del metodo, e richiede sessioni di durata lunga in relazione alla distanza, con intervalli di campionamento di 30 o 60 secondi. È adatta alla determinazione di baselines lunghe (> 30 km) e si utilizza nell’ambito delle reti di inquadramento, nell’ambito di ricerche scientifiche (ad es. in geofisica), o in rilevamenti di alta precisione a scopo di monitoraggio, tutte applicazioni caratterizzate da lunghi periodi di osservazione.
Lo “statico rapido” è la tecnica più utilizzata nei rilievi correnti. È adatta alla determinazione di baselines di lunghezza inferiore ai 30 km e quindi si presta ai rilievi locali in cui l’esigenza primaria è la rapidità e la produttività. Gli intervalli di campionamento più adatti sono in genere 5 o 10 secondi, e le sessioni hanno durata inferiore a quella che richiederebbe lo statico su una pari distanza.

Nell’uno e nell’altro caso, vengono ormai utilizzati quasi esclusivamente ricevitori a doppia frequenza. Essi sono indispensabili per le basi lunghe per una efficace correzione ionosferica, e consentono di raggiungere una ottima efficienza nello statico rapido, con tempi di sessione brevi. I ricevitori monofrequenza, anche se più economici di quelli in doppia, sono quasi scomparsi dal mercato per le loro pesanti limitazioni: non consentono di misurare baselines oltre i 20-30 km e richiedono sessioni fastidiosamente lunghe per basi di modesta lunghezza. La tendenza, al contrario, va verso la terza frequenza, che nel giro di qualche anno sarà disponibile per l’intera costellazione GPS.

Si riporta di seguito una tabella contenente durate delle sessioni e intervallo di campionamento consigliati in funzione della lunghezza della baseline. Si tratta di dati di massima a scopo puramente indicativo.

L (km)	durata sessione (min.)	intervallo campionamento (s)	parametri accuratezza a (mm)	b (p.p.m.)
0-1	10	5	3	1
	30	10	2	1
1-5	20	5	3	1
	60	10	2	1
5-10	30	5	3	1
	60	20	2	0.5
10-30	40	10	3	1
	90	30	2	0.5
30-50	120	30	2	0.5
50-100	180	30	2	0.3
> 100	> 240	30	2	0.2

Tabella 3 - Parametri di progetto indicativi per sessioni di misura statiche (ricevitori a doppia frequenza).

L'accuratezza su una singola baseline è stimabile, sempre in linea di massima, con l'espressione:

$$\sigma_{pl} = \sqrt{a^2 + (bL)^2}$$
$$\sigma_{alt} \cong 1.5 \cdot \sigma_{pl}$$

dove L è la lunghezza della baseline, σ_{pl} l'accuratezza delle componenti planimetriche e σ_{alt} quella della componente altimetrica. I parametri a e b possono essere desunti in prima approssimazione dalla tabella precedente, o ricavati da esperienze specifiche in condizioni operative simili. Si sottolinea il fatto che si tratta di valori puramente indicativi e di massima, in quanto l'accuratezza effettiva è influenzata da un grande numero di fattori non prevedibili a priori (numero di satelliti, bontà della geometria, condizioni atmosferiche, livello di multipath, caratteristiche di antenna e ricevitore, qualità delle effemeridi utilizzate, software di elaborazione, ...).

La scelta dell'angolo di cut-off, come spesso accade, è un compromesso tra due esigenze opposte: per acquisire più satelliti e osservazioni è preferibile tenerlo basso (al limite 0°) ma le osservazioni su satelliti bassi risultano rumorose e affette da un errore troposferico forte e difficile da stimare. La scelta oggi considerata tipica di 10° risulta in genere ottimale. In situazioni particolari (visibilità satellitare limitata su un lato, rilievi a latitudini elevate, ...) è conveniente abbassarlo fino anche a 0°. Questo parametro tuttavia può essere tranquillamente modificato in sede di elaborazione, per cui in campagna si tende spesso a tenerlo basso (ad es. 5°) aumentandolo poi nel calcolo di post-processamento.

- Schemi delle osservazioni

I rilevamenti in statico appoggiati a una rete di stazioni permanenti GNSS possono essere realizzati con un'ampia varietà di configurazioni. In ogni caso, si ritiene opportuno raccomandare schemi di rilievo a rete, che prevedano un numero di baselines sovrabbondante rispetto allo stretto necessario, tanto più quanto maggiore è l'importanza del rilievo e le esigenze di accuratezza. Si descrivono di seguito, a titolo di esempio, tre casi tipici.

Lo schema più semplice (fig. 5) prevede l'utilizzo di un solo ricevitore, che viene portato via via sui punti da determinare e mantenuto in stazione per tempi desunti ad esempio dalla tabella sopra riportata. In questo modo, è possibile determinare per ogni sessione un certo numero di baselines di collegamento tra il punto da determinare e le stazioni della rete. Il collegamento può essere limitato anche a una sola stazione ma in questo caso la ridondanza è nulla, per cui è consigliabile collegare il punto ad almeno due stazioni della rete, in genere le più vicine.

Disponendo di più ricevitori, si può duplicare lo schema precedente (fig. 6) operando in modo indipendente con ciascun ricevitore nei confronti della rete, raggiungendo un'ottima produttività.

Ma quando i ricevitori sono più di uno si tende a coordinarne gli spostamenti in sincronia, in modo da poter determinare anche alcune baselines che congiungono tra loro i punti incogniti (fig. 7), migliorando la ridondanza e la geometria dello schema a rete con benefici in termini di accuratezza.
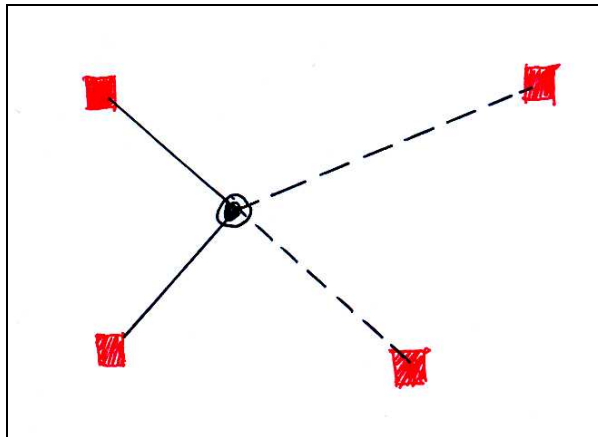
Figura 5 – Collegamento di un solo ricevitore alla rete.
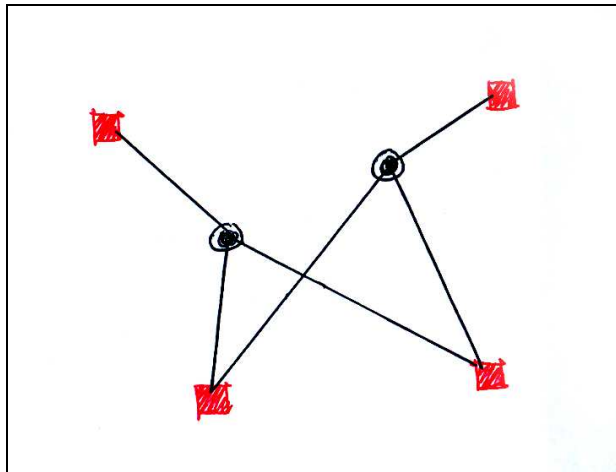
Figura 6 – Collegamento di due ricevitori alla rete in modo indipendente.
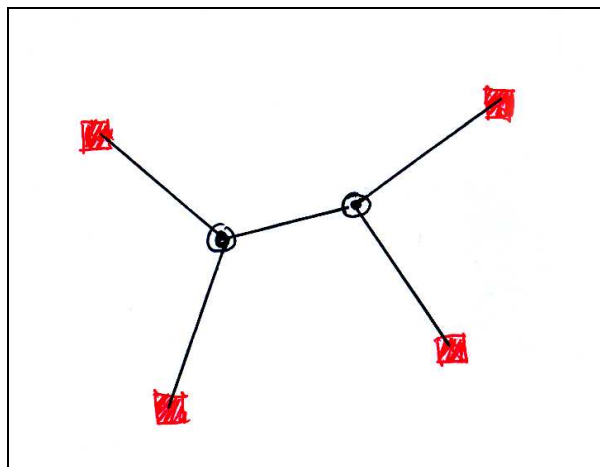
Figura 7 – Collegamento di due ricevitori tra loro e alla rete.

- Operazioni preliminari

Data l'attuale abbondanza di satelliti e la disponibilità di ricevitori multi-costellazione, si è un po' persa l'abitudine a eseguire il *planning* preliminare (analisi della disponibilità dei satelliti e scelta degli orari ottimali). Esso di fatto viene riservato alle situazioni "difficili" per la presenza di ostruzioni (valli strette, aree urbane, ecc.) o al caso in cui la durata delle sessioni sia molto breve.

Prima delle misure è necessario predisporre all'uso i ricevitori, con operazioni di routine ma comunque da effettuare con attenzione, quali: settaggio dell'intervallo di campionamento, del tipo di costellazione, dell'angolo di cut-off; caricamento delle batterie di ricevitori, controller, computer portatili e quanto altro.

Ovviamente, è anche opportuno controllare lo stato della rete di stazioni permanenti che verrà utilizzata, anche se va detto che le reti GNSS hanno attualmente una affidabilità molto elevata, che per i servizi in post-processamento si avvicina al 100%.

- Operazioni di campagna

Le operazioni di campagna nei rilievi in statico sono molto semplici: si tratta di porre in stazione l'antenna GNSS sul treppiede (o pilastrino o altro dispositivo), misurarne correttamente l'altezza, effettuare i necessari collegamenti, accendere il ricevitore e avviare la registrazione del raw file. Al termine della sessione, si interrompe la registrazione e si spegne il ricevitore. Una serie di operazioni apparentemente banali ma che vanno eseguite con ordine e attenzione in quanto nascondono piccole insidie che possono compromettere il buon esito del rilievo. Si ritiene pertanto opportuno fornire alcune indicazioni più dettagliate.

La misura dell'altezza (offset verticale) dell'antenna può essere effettuata in diversi modi tra i quali i più comuni sono i seguenti:

a) offset verticale del piano di base (h_v in fig. 8)

Va individuato innanzitutto il piano di base dell'antenna, ovvero il piano su cui l'antenna poggia sul portantenna o pilastrino su cui viene posta in stazione; su questo piano si trova la filettatura femmina (passo standard 5/8") di montaggio. Questo piano viene detto ARP (antenna reference point) o BAM (base of antenna mount). L'offset h_v viene misurato verticalmente dal piano di base al marker.

b) altezza inclinata o slant (h_s in fig. 8)

Viene misurata la distanza inclinata h_s dal centro del marker a un punto P dell'antenna del quale sia nota la distanza *r* (raggio) dall'asse e l'offset verticale Δh tra il punto P e il piano di base dell'antenna.

La relazione tra i due tipi di altezza è la seguente:

$$h_v = \sqrt{h_s^{\,2} - r^2} + \Delta h$$

L'offset verticale effettivo del centro di fase dell'antenna rispetto al marker viene calcolato dal software applicativo sommando all'offset del piano di base l'ulteriore offset h_f del centro di fase rispetto al piano di base. Quest'ultimo è funzione della frequenza (è diverso per L_1 ed L_2) e dell'elevazione α del satellite (ed quindi diverso per ogni satellite). Si ha pertanto:

$$h_{L1} = h_v + h_{f1}(\alpha)$$
$$h_{L2} = h_v + h_{f2}(\alpha)$$

La legge di variazione di h_f con l'elevazione α del satellite (PCV = Phase Center Variation) è valutata dai software di processamento mediante un file delle antenne, che contiene un database di parametri di calibrazione per vari tipi di antenne predefiniti. Per lavori di importanza ordinaria, è in genere sufficiente verificare che la propria antenna sia inclusa nel database del software che si utilizza, e se necessario

aggiornarlo o integrarlo con dati reperibili sul web (ad es. nel sito dell'NGS: http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/). Per tutti i rilievi in cui si richiede una notevole accuratezza e in particolare se si opera nel datum ITRF2005 – IGS05, si raccomanda di ricorrere a parametri PCV di calibrazione assoluta.

Di norma, tutti i software applicativi GNSS prevedono sempre tra le varie opzioni l'inserimento dell'offset verticale h_v come definito al punto a). Alcuni software prevedono anche l'immissione diretta dell'altezza slant, e la trasformano in offset verticale con i dati geometrici dell'antenna ricavati da un database di antenne. Qualora vi siano dubbi a questo proposito, si raccomanda di misurare e utilizzare sempre l'offset verticale h_v definito al punto a).
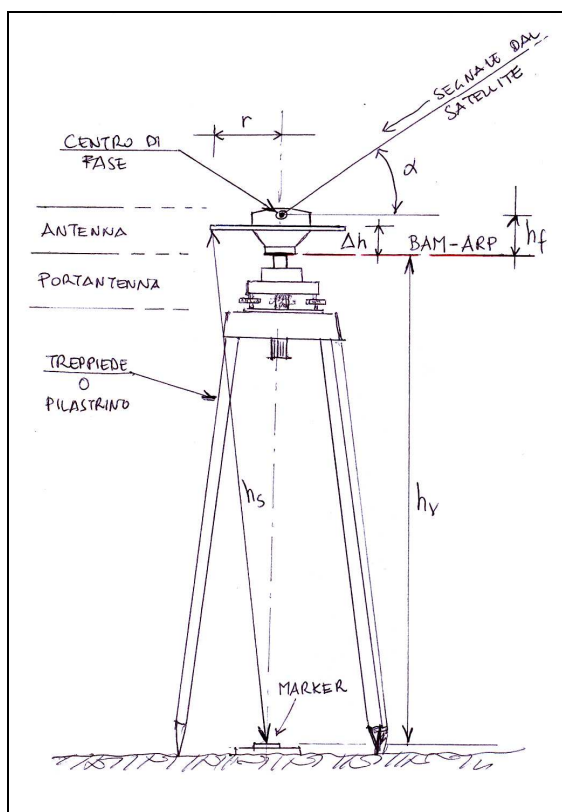
Figura 8 – Offset verticale dell'antenna e diversi modi di misurarlo.

L'offset planimetrico dell'antenna dipende anch'esso dalla elevazione e direzione azimutale di ogni satellite. Esso può essere messo in conto utilizzando gli appropriati parametri PCV, in particolare quelli derivanti da calibrazione assoluta. È ovviamente necessario disporre verso il nord la tacca di riferimento presente sull'antenna o un altro punto identificabile dell'antenna stessa indicato dal manuale della stessa. Nelle misure con elevate esigenze di accuratezza (es. monitoraggio di deformazioni) è opportuno adottare antenne tutte uguali e ben orientate al nord, e utilizzare i PCV assoluti.

Un problema apparentemente banale ma non trascurabile è la necessità di denominare i files acquisiti in modo chiaro in modo da poterli poi associare facilmente ai punti stazionati e alle sessioni eseguite (data e orario di inizio e fine). Questa esigenza si manifesta in modo particolarmente evidente quando si lavora su grandi reti, con un numero elevato di ricevitori (es. 6 ricevitori), effettuando molte sessioni, occupando tanti punti e a volte rioccupandoli più volte anche nella stessa giornata con altezze diverse. Tenere in ordine i files acquisiti è essenziale, non farlo comporta un faticoso lavoro di editing a posteriori e ricostruzione del lavoro fatto, di determinazione delle baselines da processare in modo che siano indipendenti, e così via.

Un buon metodo è quello di utilizzare per ogni ricevitore un controller, e di registrare direttamente nello header di ogni file acquisito tutti i dati rilevanti, come denominazione del punto, offset dell'antenna, annotazioni, e quant'altro. Spesso però capita di utilizzare ricevitori sprovvisti di controller, per vari motivi (economia, batterie scariche, ...) e a questo punto tenere una documentazione cartacea ordinata dell'attività svolta diventa fondamentale.

Si riportano di seguito alcuni esempi di modulistica adottabile per misure GNSS statiche. Il primo modulo, abbastanza classico, è la scheda da compilare per ogni stazione eseguita, che riporta i dati essenziali della sessione statica eseguita sul punto. I disegni monografici possono comprendere una planimetria del punto rilevato ed elementi circostanti, e anche se necessario uno schema della misura dell'altezza dell'antenna.

SCHEDA STAZIONE GNSS

		Disegni monografici
Lavoro		
Data		
Denominazione punto		
Ora inizio sessione		
Ora fine sessione		
Ricevitore		
Antenna		
Altezza antenna		
tipo misura altezza		
N. sat inizio sessione		
N. sat fine sessione		
Operatore		
Note e osservazioni		

Figura 9 – Scheda per stazione GNSS statica.

Un secondo tipo di modulo è una "scheda ricevitore" che deve accompagnare il ricevitore in tutte le sessioni eseguite durante una campagna, indicando la sequenza dei punti occupati e i dati essenziali di ciascuna sessione di misura. Se la campagna è di considerevole durata le schede ricevitore possono essere raccolte in un "libretto del ricevitore" che deve sempre accompagnare il ricevitore stesso, possibilmente inserito nella custodia o nella borsa con cui il ricevitore viene trasportato. L'esperienza ha mostrato che questo semplice modulo è di grande utilità nel ricostruire spostamenti e sessioni effettuate.

SCHEDA RICEVITORE GNSS

Ricevitore	Lavoro	Data

Punti occupati	Ora inizio sessione	Ora fine sessione	Altezza antenna	tipo misura altezza	Osservazioni

Figura 10 – Scheda ricevitore per campagne GNSS statiche.

6.2.2 Rilevamento cinematico in post-processamento

Le tecniche di rilevamento cinematico post-processato vengono utilizzate principalmente per due categorie di applicazioni:

- *Ricostruzione di tracciati di mezzi in movimento*. Applicazioni particolarmente rilevanti in questa categoria sono la fotogrammetria aerea diretta (determinazione dei centri di presa) e il Mobile Mapping System, che trova in Italia un notevole utilizzo per il Catasto Strade; in entrambi i casi i risultati migliori si ottengono con sistemi integrati di sensori satellitari e inerziali (GNSS/IMU).
- *Rilevamenti di dettaglio in stop-and-go*. Questa tecnica viene utilizzata attualmente molto meno che in passato, in quanto soppiantata dal cinematico in tempo reale (RTK e NRTK), che fornisce risultati immediatamente controllabili. Può essere considerata un'alternativa economica alle tecniche in real time (come tutte le tecniche in p.p., non richiede collegamento in tempo reale né abbonamento ai servizi real time), ma il rischio di dover ripetere parti del rilievo nelle quali non si è ottenuto il fissaggio dell'ambiguità annulla praticamente il vantaggio della minor spesa.

Il capitolo dedicato al Catasto Stradale (n. 8) contiene una esauriente analisi di questo tipo di rilevamenti. Ad esso si rimanda quindi per approfondimenti, limitandoci in questa sede a una trattazione sintetica dei soli elementi essenziali.

- Strumentazione e parametri di acquisizione

In questo caso l'unico parametro da stabilire è l'intervallo di campionamento.

L'intervallo di campionamento nei rilievi cinematici deve essere breve. Si tratta di trovare il miglior compromesso tra l'esigenza di ricostruire con buona definizione il tracciato, e quella di evitare un volume eccessivo dei dati che produce difficoltà nell'archiviazione e anche nell'elaborazione.

Nella maggior parte dei casi si utilizza 1 secondo (frequenza di campionamento 1 Hz). Se la velocità del mezzo è elevata e/o i parametri del moto devono essere ricostruiti con maggior definizione, è possibile arrivare a intervalli di 0.1 s (10 Hz) o 0.05 s (20 Hz) ma l'elaborazione con frequenze di campionamento così elevate non è sempre agevole, e solo pochissime stazioni permanenti offrono campionamenti a frequenze superiori a 1 Hz.

Con ricevitori GNSS geodetici (codice e fase) a doppia frequenza si raggiungono in cinematico accuratezze plano-altimetriche dell'ordine di pochi centimetri per tutte le epoche in cui le ambiguità vengono fissate nell'elaborazione.

Utilizzando il solo codice (DGPS post-processato) la strumentazione è molto più economica, l'elaborazione è semplice e affidabile anche a distanze elevate dalla stazione fissa, ma l'accuratezza è modesta (dell'ordine del metro o poco meno), anche se può essere sufficiente per molte applicazioni.

Particolare attenzione va ovviamente prestata alle modalità di montaggio dell'antenna che deve essere saldamente assicurata al mezzo. Per autoveicoli a velocità non troppo elevate è in genere sufficiente un dispositivo di attacco magnetico. Per veicoli più veloci è indispensabile un fissaggio più stabile e la scelta dell'antenna va eseguita anche in funzione del comportamento aerodinamico.

- Schemi delle osservazioni

I rilevamenti cinematici con il solo codice non pongono problemi particolari, potendosi operare anche a notevole distanza dalla stazione base.

Nei rilievi con impiego della fase, come noto, per ottenere tracciati di accuratezza soddisfacente (pochi cm) è necessario che le ambiguità vengano fissate per la quasi totalità delle epoche che costituiscono il tracciato. Perché questa condizione si verifichi, è necessario che la distanza tra il ricevitore *rover* e quello fisso non superi un limite massimo individuabile in circa 20 km, ma i migliori risultati si ottengono con un ricevitore base a distanza inferiore.
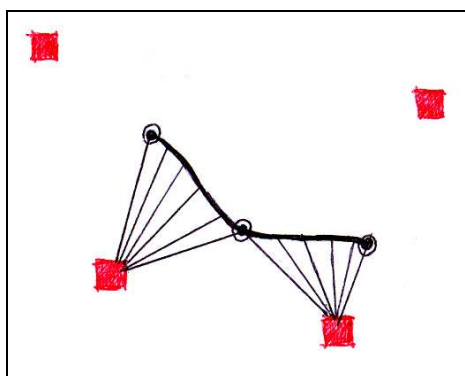
Figura 11 – Tracciato cinematico in p.p. collegato direttamente a stazioni della rete.

Quando si utilizza una rete di stazioni permanenti GNSS, la densità delle stazioni in genere non è tale da garantire sempre una distanza soddisfacente. Il collegamento diretto alle stazioni della rete è realizzabile solo se il tracciato da rilevare è situato in prossimità di una o più stazioni (fig. 11).

La soluzione più opportuna è quella che fa ricorso a un file RINEX VIRTUALE generato in una posizione prossima (pochi km) all'area del rilievo (fig. 12 e 13). In questo modo il fissaggio delle ambiguità diviene molto più probabile e interessa un maggior numero di epoche, garantendo un migliore esito del rilievo.
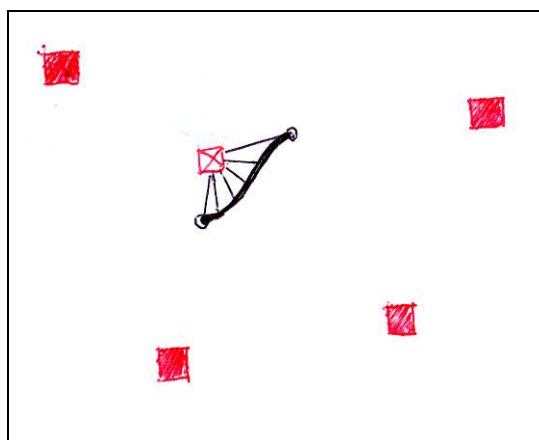
Figura 12 – Tracciato cinematico in p.p. collegato a una stazione virtuale (RINEX VIRTUALE).
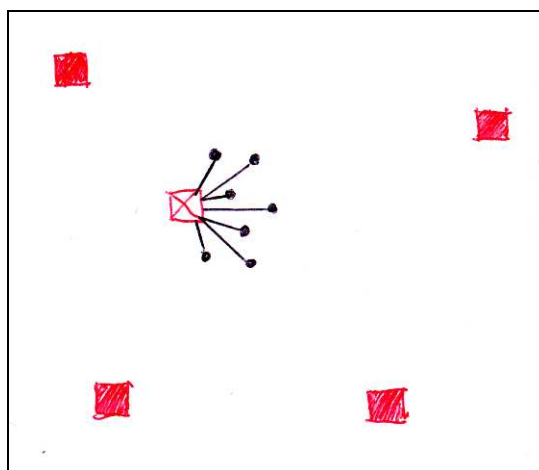
Figura 13 – Rilievo in stop-and-go collegato a una stazione virtuale (RINEX VIRTUALE).

6.3 Elaborazione dei dati in post-processamento

Una trattazione esauriente di questo argomento, che contiene in pratica una gran parte dello "scibile" topografico moderno, richiederebbe uno spazio tale da assorbire la massima parte del presente capitolo, anche a voler essere sintetici. Si ritiene che ciò esuli dai contenuti che ci si è proposti, e ci si limita pertanto ad alcuni cenni, rimandando per gli approfondimenti alla bibliografia fondamentale sui sistemi GPS e GNSS.

La maggior parte degli utenti effettua l'elaborazione dei dati (acquisiti dai propri ricevitori e dalle stazioni permanenti della rete) con il software fornito dal produttore degli strumenti utilizzati. Si tratta per lo più di pacchetti software di tutto rispetto, che utilizzano algoritmi efficienti e rigorosi e permettono di ottenere buoni risultati se utilizzati correttamente.

L'utilizzo di software di tipo "scientifico" come i pacchetti prodotti da alcune Università italiane ed estere (si citano ad esempio Bernese, GAMIT, Gipsy) permette di ottenere soluzioni più raffinate e generalmente più accurate, grazie ad una maggiore gamma di settaggi e di opzioni che però possono essere padroneggiate con sicurezza solo da utenti particolarmente esperti. Per questi motivi, l'impiego di queste procedure software è in genere ristretto ad ambiti di ricerca o ad applicazioni di grande

importanza.

Restringendo quindi l'analisi all'ipotesi di impiego di software "commerciale", l'approccio che si ritiene più conveniente e opportuno per un utente tecnico tipo è quello che prevede l'esecuzione in sequenza di una serie di fasi del calcolo, ciascuna delle quali va fatta seguire da una verifica di qualità dei risultati prima di passare alla fase successiva.

Le verifiche vengono in genere effettuate controllando la rispondenza di alcuni parametri a valori imposti da un capitolato o da una normativa tecnica. In mancanza di prescrizioni specifiche, ci si può rifare a capitolati emanati per rilevamenti di tipo simile a quello che si esegue. Una normativa di riferimento ben nota alla maggior parte degli utenti e molto applicata attualmente in Italia, è costituita dalle Specifiche Tecniche emanate nel 2001 dall'Intesa Stato-Regioni-Enti Locali, Gruppo di lavoro sulle reti planoaltimetriche, facilmente reperibili sul web presso il sito http://www.intesagis.it/specifiche_tecniche.asp . Pur con alcune riserve che possono essere fatte sul contenuto di tale normativa, essa costituisce un riferimento di fatto ed una base di partenza su cui discutere, ovviamente tenendo conto che essa è stata pensata per un ben preciso ambito di applicazione e non può essere applicata a problemi di tipo diverso (ad es. ad applicazioni di monitoraggio).

Una "scaletta" operativa che si propone, a titolo di esempio, per l'elaborazione di dati in post-processamento in rilevamenti di tipo statico a rete, con collegamento a reti di stazioni permanenti, è la seguente:

- individuazione del datum in cui viene effettuato il calcolo (ad es. ITRS, o ETRS89, ...);
- scelta delle stazioni permanenti a cui collegarsi, download dei relativi files e delle coordinate delle stazioni nel datum che verrà utilizzato per il calcolo;
- caricamento nel software di tutti i files di osservazione, attribuzione degli stessi ai punti appropriati in funzione degli orari di misura, da controllare nelle schede redatte in campagna; controllo delle corrette denominazioni dei punti e del corretto accoppiamento punti/files;
- controllo o eventuale inserimento ex novo per ciascun file di osservazione del tipo di antenna e dell' offset verticale dell'antenna;
- individuazione delle baselines da calcolare per ciascuna sessione, con il criterio di considerare solo basi indipendenti (come noto, ciò corrisponde a non formare poligoni chiusi con le baselines di una stessa sessione);
- caricamento dei files di effemeridi precise, ove si vogliano impiegare queste in sostituzione di quelle trasmesse;
- scelta dei parametri di elaborazione (angolo di cut-off, modello troposferico, ...);
- calcolo delle baselines, possibilmente a partire da un punto di coordinate note in un datum globale e poi in sequenza "trasportando" le coordinate via via su tutti i punti della rete;
- controllo dei risultati delle baselines in base ai principali parametri caratterizzanti l'esito del calcolo (fissaggio delle ambiguità, tipo di soluzione, deviazioni standard delle componenti, ratio, ...); eventuale esclusione dal calcolo di baselines per cui non si è ottenuta una soluzione soddisfacente, se necessario va prevista la ripetizione della misura;
- compensazione in rete a minimi vincoli delle baselines accettate, fissando le coordinate di un solo vertice baricentrico (in alternativa, compensazione a rete libera);
- controllo dei risultati della compensazione in base ai principali parametri caratterizzanti l'esito del calcolo (residui sulle componenti delle baselines, deviazioni standard delle coordinate compensate, affidabilità, ...);
- rifacimento del calcolo o eventuale esclusione dalla compensazione per le baselines che a seguito di test statistici mostrano residui eccessivi (può risultare necessaria la ripetizione di alcune misure);
- affinamento dell'inserimento del rilievo nel datum previsto mediante stima di parametri di rototraslazione (Helmert) sulla base delle coordinate di punti noti. Di norma, si considerano note

le stazioni permanenti a cui il rilievo è stata collegato; per alcuni tipi di lavoro si può far riferimento a vertici di rete IGM95 o reti regionali di raffittimento;

- controllo dell'esito dell'inserimento nel datum mediante analisi dei residui della trasformazione di Helmert o mediante controllo dei risultati della compensazione vincolata (deviazioni standard coordinate compensate, residui delle baselines) nel caso si sia scelto il secondo approccio;
- eventuale trasformazione dal datum globale a un altro datum cartografico, eseguita con parametri verificati (ad es. quelli del software VERTO) o mediante stima locale dei parametri effettuata su un congruo numero di punti noti in entrambi i sistemi.

7 SUGGERIMENTI OPERATIVI PER GLI UTENTI (POSIZIONAMENTO IN TEMPO REALE)

7.1 Modalità di connessione e accesso al servizio

- Via GSM:

Per il gestore, fornire un servizio di posizionamento in tempo reale in modalità GSM offre molteplici svantaggi principalmente di natura hardware. Il gestore infatti deve prevedere una centrale telefonica (possibilmente con pochi numeri di ingresso, uno per ogni tipologia di prodotto offerto) capace di ricevere contemporaneamente un numero di utenze (proporzionale al numero di utenti abilitati al servizio). Presupponendo che possano essere erogabili diverse tipologie di correzione, eventualmente in differenti tipi di formato, allora è evidente che tale architettura potrebbe essere complicata ed onerosa. Le variabili che potrebbero essere combinabili sono il formato di trasmissione del dato (RTCM2.3, RTCM3.0, …) e il tipo di prodotto erogabile (RTK da singola stazione, RTK da rete con metodo VRS, RTK da rete con metodo FKP, RTK da rete con approccio MAS anche se disponibile solo con trasmissione RTCM3.0, etc…). Dunque tutti i prodotti erogabili, dovranno essere indirizzati alle porte delle centrali telefoniche che dovranno poi essere aperte, per ciascun prodotto, ad un certo numero di utenze.

La modalità di connessione con il centro di controllo GSM, vista dal lato utente, presenta alcuni limiti legati principalmente a :

- costo del servizio pari ad una telefonata ad un cellulare (se il centro di controllo è dotato di modem GSM) o ad un telefono fisso (se il centro di controllo abilita solo connessioni tramite modem che utilizzano la rete fissa);
- velocità di connessione: in realtà tale parametro attualmente consente il trasferimento delle informazioni necessarie senza particolari limiti;
- stabilità della comunicazione: se per qualsiasi motivo di natura tecnica, la connessione tra modem GSM del ricevitore rover e modem del centro di controllo viene meno, allora si deve provvedere a ristabilire la connessione in modo manuale;
- difficoltà consistente nel disporre di più numeri telefonici da scegliersi a seguito della modalità di posizionamento in tempo reale desiderata.

- Via GPRS/UMTS e Ntrip:

Per il gestore, fornire un servizio di posizionamento in tempo reale in modalità GPRS-UMTS Ntrip offre molteplici vantaggi ed apparentemente nessuno svantaggio. Infatti le correzioni vengono allocate in modo informatico sullo stesso indirizzo IP e tecnicamente creare molteplici modalità di accesso si concretizza in una configurazione più o meno complessa dei servizi offerti in tempo reale. Va da se che il computer che eroga servizi debba essere collegato con la rete ma di fatto esso è gia in rete per acquisire le informazioni dalle stazioni permanenti (a meno di architetture differenti che prevedono il trasferimento dati in modalità diverse).

La modalità di connessione con il centro di controllo via GPRS e Ntrip , vista dal lato utente, presenta anch'essa molteplici vantaggi legati principalmente a:

- Costo del servizio: dal momento che l'architettura del sistema prevede che l'utente utilizzi il proprio dispositivo per accedere ad internet e poi successivamente il sistema automaticamente si deve collegare al sito dove ricevere le correzioni, allora l'utente può utilizzare, proprio per accedere ad internet, il provider che preferisce stipulando anche tariffe FLAT che consentono con canoni mensili modesti un utilizzo estremamente più economico del servizio.
- Stabilità della connessione: in realtà la stabilità della connessione è uguale a quella utilizzando il sistema GSM (la comunicazione GPRS poggia sulle stesse celle GSM) ma eventuali interruzioni della connessione vengono immediatamente ripristinate appena il segnale torna ad essere disponibile.
- Facile scelta dei servizi disponibili. Infatti la procedura di connessione in questa modalità si concretizza in due fasi:
    - Connessione al centro di controllo
    - Scelta del servizio: tale scelta avviene scegliendo un "mount point" tra i molteplici configurati dal gestore della rete. La lista dei "mount point" disponibili appare tipicamente con una "tendina" e ogni nome dovrebbe essere un acronimo o una abbreviazione del tipo di servizio erogato su quella porta. Per il gestore, fornire un servizio di posizionamento in tempo reale offre molteplici svantaggi principalmente di natura Hardware. Ovviamente sarà cura del gestore aggiornare gli utenti con la lista dei servizi erogati con associati ad essi i corrispondenti "mount point" equivalenti.

7.2 Linee guida per il rilevamento

L'utilizzo di sistemi NRTK per il posizionamento in tempo reale non si discosta di molto dall'utilizzo del sistema RTK. Dunque le insidie proprie di sistemi in tempo reale devono essere supportate da norme operative che devono accompagnare chi opera in tale modalità, senza poter entrare nel merito di quale siano esattamente tali regole, fino ad ora mai scritte, si riporta comunque l'attenzione su alcuni aspetti che possono cautelare l'operatore.

Dalle esperienze sopraccitate, emerge un quadro estremamente incoraggiante, ma che presenta di tanto in tanto alcune instabilità nella soluzione anche dell'ordine di diecine di centimetri, spesso non localizzabili utilizzando gli abituali parametri che sono visibili in tempo reale e che caratterizzano le condizioni operative al contorno (numero di satelliti, parametri DOP o correlati etc…). Tale aspetto statisticamente piccolo (circa il 4% di probabilità), costringe comunque chi scrive ad alcune riflessioni legate alle modalità operative di rilievo nel caso si utilizzino tali sistemi.

Numero minimo di epoche per la registrazione del punto: una volta fissata l'ambiguità iniziale di fase il sistema in linea teorica presenta un'accuratezza a livello centimetrico dipendente sia dalla geometria satellitare sia dalla geometria della rete che genera il modello di correzione per quell'area. Ciò non toglie che anche potrebbe essere sufficiente registrare la posizione utilizzando poche epoche (da 1, 2, 3 epoche) risulta comunque conveniente utilizzarne un numero superiore (10, 20, 30 epoche). Tale considerazione emerge anche da un'analisi legata ai tempi di rilievo in gioco. Le operazioni di installazione, inizializzazione in sito e smontaggio del sistema (nel caso di debbano rilevare punti sparsi sul territorio) si aggira in 15/20 minuti circa, dunque utilizzare 30 epoche (pari dunque a 30 secondi) per la registrazione del punto non muta la tempistica globale del rilievo. Cosa differente potrebbe essere per rilievi in tempo reale di profili cinematici, ma in quel caso la precisione automaticamente si riduce a seguito delle modalità operative con le quali si occupano le posizioni.

Ripetizione delle misure (ridondanza): sempre nell'ottica di rilevare un numero di vertici finito (Punti fiduciali Catastali, vertici di reti di raffittimento, Punti IGM95 etc…) allora la ridondanza intesa in

termini di rioccupazione potrebbe essere un valore aggiunto di grande importanza. Tale ridondanza potrebbe essere eseguita a differenti livelli:

- Più ripetizioni ravvicinate senza reinizializzazione completa del sistema
- Più ripetizioni ravvicinate ma con reinizializzazione completa del sistema
- Più ripetizioni in differenti momenti della giornata
- Più ripetizioni in differenti giornate

La scelta su quali siano esattamente le procedure da adottarsi o quale combinazione di esse debbano essere considerate non è stata al momento analizzata in modo esaustivo.

Necessità di conoscere lo stato della rete: una informazione attualmente non completamente disponibile dall'utente che opera in campagna utilizzando sistemi NRTK consiste nello stato reale della rete che genera le correzioni (in realtà tale dato può essere fruibile a posteriori). Quando si parla di conoscenza dello stato della rete si intende quali siano in quel momento le stazioni permanenti operanti in modo continuo e quali siano i satelliti ad ambiguità fissate comuni alle stazioni che ricoprono l'area in oggetto. Tale conoscenza consentirebbe di comprendere la qualità delle correzioni che istante per istante stanno permettendo il posizionamento preciso.

Quali correzioni applicare: la bibliografie e le esperienze condotte non mostrano particolari differenze nella scelta (puramente tecnologica) di trasferimento di correzioni d'area all'utilizzatore in tempo reale. Si tratta in sostanza di modi diversi ma equivalenti di pervenire allo stesso risultato, utilizzando gli stessi dati di partenza.

7.3 Analisi e validazione dei risultati

Le tecniche di analisi e validazione dei dati di posizione ottenuti in tempo reale sono argomento di grande interesse e al momento non del tutto chiaro. Le analisi sulle soluzioni in tempo reale sono state ampiamente riportate in questo capitolo ma, nonostante i grandi sforzi per individuare tecniche di individuazione di errori grossolani, procedure per la validazione del dato non sono ancora state trovate.

Certamente uno dei metodi per controllare la qualità di un rilievo passa attraverso alcune possibilità:

a. ripetizione di misure (ridondanza)
b. occupazione di punti a coordinate note (vertici IGM o delle reti di raffittimento a 7 chilometri, poste nelle vicinanze delle zone da rilevare)
c. controllo dei parametri di qualità che i ricevitori propongono in tempo reale su display del ricevitore (numero di satelliti, parametri di diluizione della precisione etc…)
d. controllabilità a posteriori in modalità post-processamento (anche a campione).

Quali tra questi (e probabilmente se ne possono individuare altri) o quale combinazione tra questi esempi sia la più indicata a validare un rilievo a giudizio degli autori non è ancora ben chiaro. A testimonianza di ciò il rilievo in tempo reale (sia da stazione singola che da rete di stazioni permanenti) non è ancora stato normato da chi appalta lavori di rilievo topografico.

7.4 Datum e trasformazioni di datum

Per quanto riguarda il problema del Datum, il passaggio tra un sistema geodetico ad un altro o da un sistema geodetico ad uno cartografico è problema attualmente risolvibile mediante trasformazioni che in programmi come VERTO sono presenti. Tuttavia, chi gestisce reti di stazioni permanenti può scegliere tra i vari prodotti erogabili di inviare correzioni direttamente in sistemi di riferimento differenti da quello che utilizza per la risoluzione delle ambiguità iniziali di fase della rete. Tali correzioni devono dunque

essere calcolate dal gestore della rete che dovrebbe però consentire anche di conoscere in quale modo tali trasformazioni sono state calcolate.

In alcuni casi, ad esempio per i punti fiduciali catastali, ciò che conta sono le componenti di base rispetto a vertici a coordinate note. Percorrendo tale strada, determinate e certificate le coordinate delle stazioni permanenti nei principali sistemi di riferimento, la posizione del punto viene riferita in modo relativo con metodi di intersezione (anche multipla) e dunque l'utente potrebbe continuare ad operare nel sistema geodetico più corretto e avere un dato "puro" (non trasformato). Per questo tipo di problematiche si rimanda comunque al capitolo dedicato alle applicazioni catastali.

Il posizionamento in tempo reale ottenuto mediante correzione NRTK è riferito a datum globali, che variano a seconda delle scelte operate dal gestore della rete. Facendo riferimento a quanto già detto al punto 2.2 a proposito del datum delle coordinate delle stazioni, e rimandando per approfondimenti ai primi capitoli del libro bianco, tra gli approcci più seguiti attualmente in Italia nelle reti in tempo reale si citano i seguenti :

a) calcolo della rete nel datum ITRS coerente con le effemeridi precise ultra-rapide, trasmissione all'utente di correzioni NRTK calcolate in ITRS. L'utente ottiene posizioni in ITRS e le converte se necessario nel sistema ETRS89-IGM95 (di più comune utilizzo tecnico) mediante una trasformazione a 7 parametri , forniti di norma dal gestore della rete;

b) calcolo di rete nel datum ITRS, ma trasmissione all'utente di correzioni NRTK convertite in ETRS89. L'utente ottiene direttamente una posizione in ETRS89, coerente con la rete geodetica di inquadramento IGM95 e con buona parte delle carte italiane di attuale produzione, senza necessità di eseguire trasformazioni di datum.

Un terzo approccio, utilizzato in via temporanea in alcune reti (ad es. Umbria) è quello di eseguire il calcolo di rete nel datum ETRS89-IGM95, e trasmettere agli utenti correzioni NRTK nello stesso sistema. Questo modo di operare presenta però il problema di una incoerenza tra il datum di calcolo (ETRS89) e il datum delle effemeridi (ITRS), che porta in genere a un peggioramento delle prestazioni della rete. Per lavorare in ETRS89 è raccomandabile seguire uno degli approcci sopra indicati.

È anche possibile effettuare posizionamenti e tracciamenti in un sistema locale definito dall'utente, come nel caso già prospettato di rilievi catastali in Cassini-Soldner, o per operare in un sistema di coordinate locali "rettilinee" di cantiere. La necessaria trasformazione di datum viene calcolata localmente dal software presente nel controller del ricevitore rover, sulla base dei dati acquisiti in una procedura preliminare di calibrazione che consiste nell'acquisire un certo numero di punti noti opportunamente dislocati rispetto all'area del rilievo. Calcolata tale trasformazione, il posizionamento o tracciamento viene eseguito poi in coordinate locali. Si tratta indubbiamente di procedure approssimate, a livello subdecimetrico o decimetrico, che possono risultare pratiche ed efficaci per zone di estensione non troppo grande, quando l'approssimazione sopra riferita è accettabile.

Se i risultati del posizionamento devono essere georiferiti al datum Roma 1940, ancora utilizzato in gran parte della cartografia italiana (carte IGM precedenti alla serie 25DB, carte tecniche regionali anteriori alle specifiche DB dell'Intesa Stato-Regioni), la soluzione preferibile, come già accennato, è quella di utilizzare i grigliati in formato .gr1 calcolati dall'IGM (utilizzabili con il già citato software VERTO dell'IGM e con alcuni applicativi commerciali) per la trasformazione da ETRS89 a Roma 1940 nei due sensi; la maggior parte degli utenti utilizzano tali grigliati "ufficiali" con il beneficio di ottenere risultati univoci e coerenti con quelli ottenuti da altri. Se la rete GNSS NRTK segue gli approcci b) o c) sopra descritti, è sufficiente operare la trasformazione di datum ETRS89 → Roma 1940 come appena detto. Se invece la rete permanente segue l'approccio a) si richiede un duplice passaggio: ITRS→ETRS89 seguito da ETRS89 → Roma 1940.

Ai fini del posizionamento altimetrico è necessario utilizzare un buon modello locale del geoide. Le versioni di ITALGEO dalla 99 in poi sono molto definite e risultano coerenti con la rete di livellazione IGM, permettendo quindi di inquadrare agevolmente i rilievi nel datum altimetrico nazionale con accuratezza che si può ritenere subdecimetrica. Il modello ITALGEO99 è inserito anche nei sopra citati

grigliati .gr1 dell'IGM, per la parte altimetrica della trasformazione. Va infine riferito che alcune regioni italiane hanno realizzato o stanno realizzando raffittimenti della rete nazionale di livellazione, seguiti da un affinamento locale del geoide, che permette di ottenere risultati ancora migliori.

8 CONCLUSIONI E SVILUPPI

Nel presente capitolo sono stati descritti i principali prodotti e servizi che una rete di stazioni permanenti GNSS su scala regionale è attualmente in grado di fornire. Come avviene per la maggior parte delle infrastrutture tecnologiche, anche in questo settore la realtà è estremamente dinamica e soggetta a continui aggiornamenti. Quello che è certo è che la qualità e l'affidabilità dei servizi offerti nel futuro non potranno che migliorare.

Alcuni fattori migliorativi di cui si potrà disporre nei prossimi anni sono già noti o prevedibili, pur con qualche incertezza sulla realizzazione concreta di alcuni di essi, dovuta essenzialmente a fattori economici:

- modernizzazione del sistema GPS con introduzione della terza frequenza;
- completamento e modernizzazione della costellazione GLONASS;
- realizzazione della costellazione GALILEO;
- miglioramento delle telecomunicazioni (sia per le reti, sia per la telefonia mobile);
- miglioramento dell'hardware, del software, degli algoritmi;
- ulteriore affinamento dei modelli geoidici locali;
- disponibilità di cartografia di tipo DB e GIS georeferenziati nei datum globali ETRS-ITRS.

Pur ricorrendo a una certa dose di ottimismo, nell'arco di un decennio è ipotizzabile che si realizzi uno scenario operativo in cui saranno sempre disponibili 20 o più satelliti, permettendo di aumentare notevolmente la accuratezza e l'affidabilità delle soluzioni in tempo reale. Queste saranno probabilmente utilizzate per la quasi totalità delle applicazioni topografiche a carattere tecnico, riducendo il ricorso alle elaborazioni in post-processamento ad ambiti più limitati (applicazioni scientifiche e applicazioni tecniche particolari con forti requisiti di accuratezza, quale il monitoraggio). I risultati dei rilievi saranno immediatamente confrontabili con i prodotti cartografici di nuova concezione, limitando la necessità di trasformazioni di datum.

L'elevato grado di affidabilità raggiunto potrà portare a una certificazione dei posizionamenti ottenuti mediante le reti. Per arrivare a questo risultato, importantissimo per gli utenti ma tutt'altro che facile da conseguire, è indispensabile tra le altre cose che si realizzi un coordinamento tra i diversi enti cartografici dello stato e locali.

Oltre che dal "versante rete" ovvero dal punto di vista della tecnologia e delle prestazioni, sono prevedibili miglioramenti anche sul "versante utenza". Miglioramenti quantitativi: un incremento del numero di utenti nel tempo è già evidente nelle reti regionali italiane in funzione da un paio d'anni. Ma anche qualitativi: molte applicazioni delle reti permanenti sono già in atto, ma tante altre applicazioni, prodotti e possibili servizi sono ancora da inventare, soprattutto nei settori delle attività umane non strettamente "topografici".

BIBLIOGRAFIA

Barbarella M., Bedin A., Gandolfi S., 2006, *The transmission of GNSS Data in the DISTART Network for Real Time Kinematic Positioning*, Report on Geodesy – Wrocklav - Poland, No. 2 (77) 2006, 241-247.

Barbarella M., Gandolfi S., Ronci E., 2006. *The Use of a GNSS Test Network for Real Time Application in Italy: First Results Based on Regional Field Test*, ION GNSS 19th International Technical Meeting of the Satellite Division, 26-29 September 2006, Fort Worth, TX, USA, 1226-1232.

Barbarella M., Gandolfi S., Ronci E., 2006, *Precisione e accuratezza raggiunta in rilievi Nrtk ripetuti*, Sottomesso alla rivista SIFET.

Belluomini P., Biagi L., Grimaldi L., Laffi R., Novembre C., Sansò F., Scuratti M., 2006, *GPS Lombardia: rete GNSS per un servizio di posizionamento.* Atti della X Conferenza Nazionale ASITA, Bolzano, Novembre 2006.

Benazzo E., Biagi L., Manzino A., Pesenti M., Roggero M., 2006, *Reti GPS permanenti su scala regionale in Piemonte: inquadramento geodetico e strategie di analisi*. Bollettino SIFET n. 1/2006.

Biagi L., Sansò F., Scuratti M., Laffi R., Novembre C., 2003, *Il Servizio Regionale di Posizionamento per la Lombardia*, Atti della 7a Conferenza ASITA, Verona 2003.

Biagi L., Caldera S., Sansò F., Visconti M. G., 2005, 2006, 2007 (vari aggiornamenti), *Parametri di trasformazione fra coordinate rete e coordinate utente per la Regione Lombardia*, http://geomatica.como.polimi.it/prin/.

Biagi L., Crespi M., Manzino A., Sansò F., 2006, *I servizi di posizionamento basati su reti di stazioni permanenti GNSS*, relazione invitata alla 9a Conferenza Nazionale ASITA, Catania, novembre 2005. Bollettino SIFET n. 1/2006.

Biagi L., Sansò F. et al., 2006, *Il servizio di posizionamento in Regione Lombardia e la prima sperimentazione sui servizi di rete in tempo reale*. Bollettino SIFET n. 2/2006.

Ciarapica A., Ferranti G., Radicioni F., Stoppini A., 2005, *La rete di stazioni permanenti GPS/GNSS della Regione Umbria: verso un servizio regionale di posizionamento.*

Crespi M., De Vendictis L., Fabiani U., Luzietti L., Mazzoni A., Reina G., 2006, *Applicazioni nel campo del posizionamento di precisione in tempo reale supportato da una rete di stazioni permanenti GNSS: RESNAP-GPS e l'esperienza nel Lazio.* Atti della X Conferenza Nazionale ASITA, Bolzano, Novembre 2006.

Fastellini G., Radicioni F., Stoppini A., 2006, *Ottimizzazione dei servizi di posizionamento forniti da reti permanenti GNSS su scala regionale.* Atti della X Conferenza Nazionale ASITA, Bolzano, Novembre 2006.

Grassi S., Dominici D., Radicioni F., Stoppini A., Molinelli G., 2002, *Posizionamenti di precisione in tempo reale con tecniche differenziali GNSS basate su stazioni permanenti.* Atti della 6a Conferenza Nazionale ASITA, Perugia, novembre 2002.

Manzino A.M., 2006, *L'evoluzione del sistema di posizionamento GNSS.* Atti della X Conferenza Nazionale ASITA, Bolzano, Novembre 2006.

Piras M., Radicioni F., 2005, *GNSS: quale scenario nel prossimo futuro?* Bollettino SIFET n. 4/2005.

Radicioni F., Dominici D., Stoppini A., Selli S., Grassi S., 2002, *Quality control and validation of GPS data acquired by permanent stations.* Rendiconto scientifico ASI - Agenzia Spaziale Italiana.

Radicioni F., Stoppini A., 2004, *Istituzione di una rete di stazioni permanenti GPS/GNSS in Umbria*. Atti della 8a Conferenza Nazionale ASITA, Roma, dicembre 2004.

Radicioni F., Stoppini A., 2005, *Applicazioni in post-processamento e in real-time su reti locali di stazioni permanenti GPS/GNSS.* Atti della 9a Conferenza Nazionale ASITA, Catania, novembre 2005.

Radicioni F., Stoppini A., Fastellini G., 2006, *Reti di stazioni permanenti GNSS e servizi di posizionamento su scala regionale.* Mondo GIS, CARTOgraphica n. 16, Ottobre 2006.